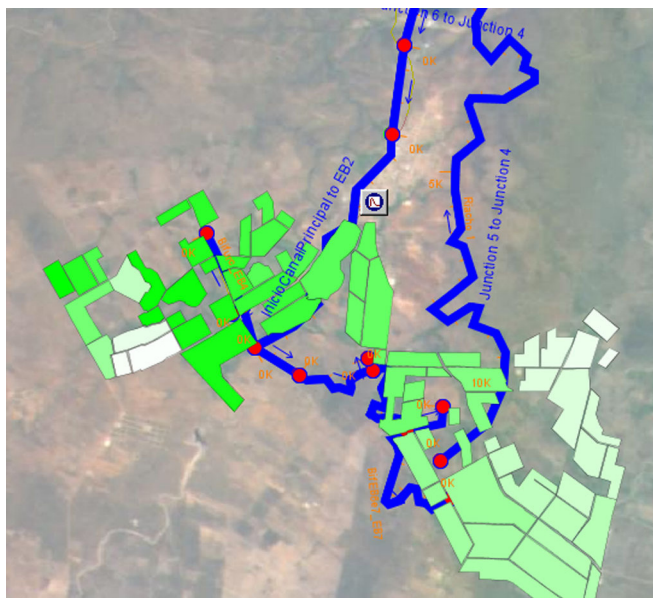


Marcus Aurélio Soares Cruz



Aplicação do modelo LAWS na avaliação da eficiência do uso da água no Perímetro Irrigado Califórnia, em Sergipe

Marcus Aurélio Soares Cruz¹
Ronaldo Souza Resende²
Julio Roberto Araujo de Amorim³
Luis Henrique Basso⁴
José Gomes Silva Filho⁵

O Perímetro Irrigado Califórnia, localizado no município de Canindé de São Francisco, em Sergipe, possui uma área total de 3.980 ha, sendo 1.360 ha de área irrigável, 676 ha de área de preservação ambiental e 1.830 ha de área destinada à agricultura de sequeiro ou dependente de chuva. A área irrigável está composta por 238 lotes familiares, com área média de 4,3 ha, 19 lotes destinados a técnicos agrícolas de nível médio e superior, com área média de 8,6 ha e 15 lotes irrigados destinados a miniempresários, com área média de 15 ha.

As principais culturas exploradas nos lotes irrigados do Perímetro são: quiabo (*Abelmoschus esculentus*), milho (*Zea mays*), feijão-de-corda (*Vigna unguiculata*) e macaxeira, (*Manihot esculenta*) como culturas anuais, e goiaba (*Psidium guajava*), como perene (SERGIPE, 2004). O sistema de captação e distribuição de água para o Perímetro Irrigado tem como base conceitual o nível de atendimento da demanda hídrica das culturas (NAD) plantadas em cada lote por meio de estações de bombeamento (EBs) interligadas e complementadas por reservatórios de apoio associados às EBs. Na Figura 1, é

apresentado o esquema hidráulico dos sistemas de captação e distribuição de água do Perímetro Irrigado Califórnia.

O Perímetro Irrigado Califórnia tem sido caracterizado por uma baixa eficiência no uso da água captada - resultante de perdas de água localizadas, sistemas de irrigação obsoletos e desperdício de água usada na irrigação -, que tem levado a perdas de água superiores a 40% do volume anual captado. A avaliação de cenários alternativos de eficiência de sistemas de irrigação e de mudanças no manejo das culturas pode ser realizada por meio de modelos de simulação dos processos relativos ao uso da água no Perímetro Irrigado. Neste estudo, foi utilizado o modelo LAWS (Land Atmosphere Water Simulator), desenvolvido pelo U. S. Bureau of Reclamation (TAMSEY, 2008; YOUNG, 2008), para a simulação dos cultivos e para a determinação do nível de atendimento da demanda hídrica das culturas (NAD), bem como para avaliação do desempenho dos sistemas de irrigação, visando à geração de cenários de manejo que promovam uma melhor eficiência do uso da água no Perímetro.

¹Engenheiro-civil, D. Sc. em Recursos Hídricos, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE, mascrus@cpatc.embrapa.br.

²Engenheiro-agrônomo, D. Sc. em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE, ronaldo@cpatc.embrapa.br.

³Engenheiro-agrônomo, M. Sc. em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE, jramorim@cpatc.embrapa.br.

⁴Engenheiro-agrônomo, D. Sc. em Ciências, pesquisador da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE, lhbasso@cpatsa.embrapa.br.

⁵Engenheiro-agrônomo, Especialista em Irrigação e Drenagem, técnico da Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe (Emdagro), Canindé de São Francisco, SE, sillvva@bol.com.br.

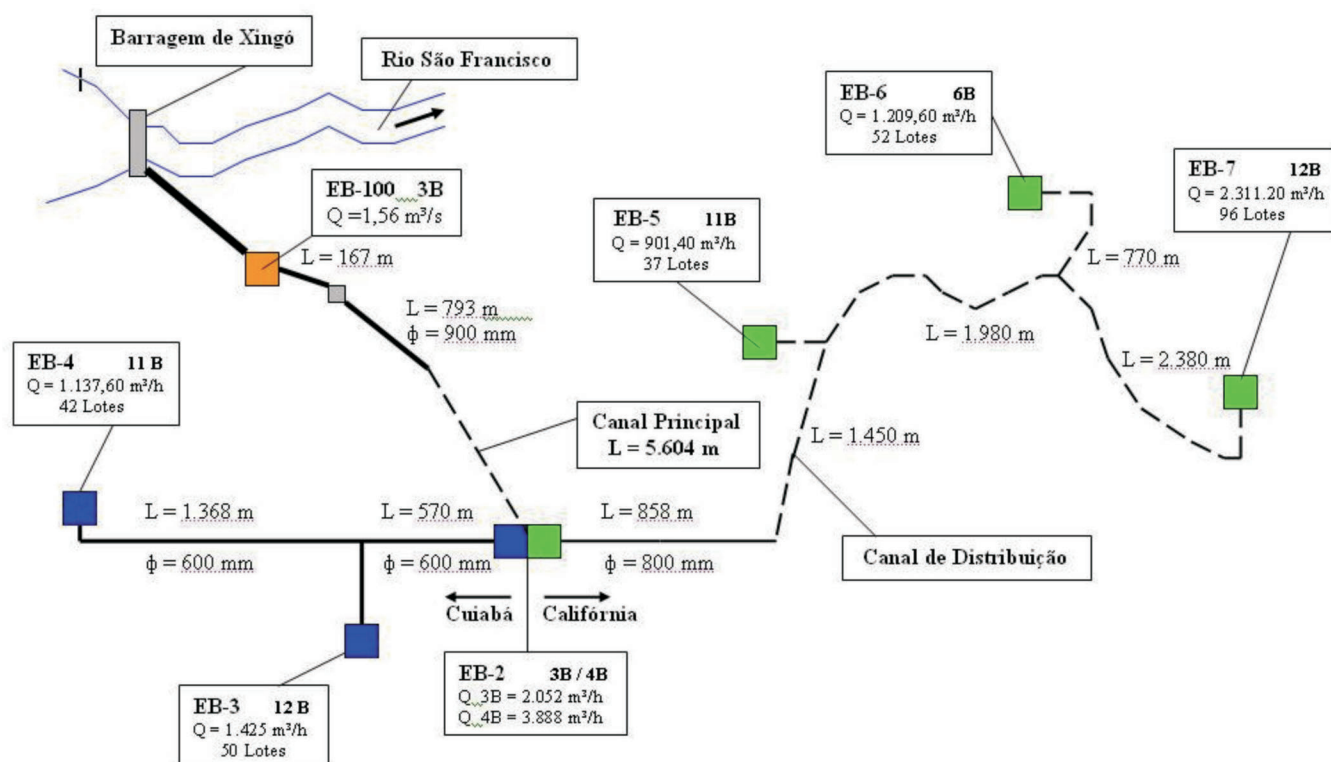


Figura 1. Esquema hidráulico dos sistemas de captação e distribuição de água do Perímetro Irrigado Califórnia (ALVORADO, 2010).
Fonte: Alvorado, 2010.

Na Figura 2, apresenta-se a *Tela de Entrada* do modelo LAWS, onde se observa a área do Perímetro Irrigado Califórnia carregado. A unidade espacial de trabalho considerada foi um agrupamento de lotes adjacentes, compostos por cinco lotes, em média, em que cada lote apresenta uma área média de 4,3 ha. Esta unidade foi selecionada de forma a representar mais adequadamente a distribuição espacial das informações do Perímetro, como classes de solo e espécies de culturas plantadas, e evitar o excesso de informações a serem processadas ao se considerar cada lote individualmente, tendo em vista que a análise realizada direciona-se ao Perímetro Irrigado como um todo.

A caracterização espacial da área do projeto de irrigação do Perímetro foi realizada por meio de uma imagem de satélite CBERS 2B CCD, georreferenciada no sistema de coordenadas UTM-SAD69 carregada no LAWS, na qual foram identificados corpos hídricos, EBs, unidades espaciais (agrupamento de lotes adjacentes), canais e caminhos de drenagem. Após esta etapa, foram inseridos dados característicos das principais culturas agrícolas objeto da avaliação (quiabo, feijão-de-corda, macaxeira, milho e goiaba), obtidas a partir de informações da literatura especializada no assunto (ALLEN; PRUIT, 1991; DOORENBOS; KASSAM, 1994; PEREIRA; ALVES, 2005;

GOMIDE; MAENO, 2008; MANTOVANI et al., 2010) e da experiência da gerência do Perímetro (SILVA FILHO, 2010). O modelo necessita dos valores de coeficientes de cultura (K_c) e profundidade da zona radicular para os diferentes estágios de crescimento das culturas.

O desempenho dos sistemas de irrigação das unidades espaciais foi caracterizado pela eficiência média de aplicação de água. Assim, foram inseridos no modelo valores relativos ao sistema de irrigação por aspersão, predominante em 80% da área irrigada do Perímetro, cuja eficiência média é de 75%, segundo dados da FAO (BROUWER et al., 1989). Devido a observações no local, com a verificação das condições de perdas existentes, optou-se por adotar um valor inferior ao recomendado pela FAO, utilizando neste caso 70%.

A caracterização dos solos do Perímetro foi realizada por meio da utilização das informações obtidas no mapeamento das classes de solo realizado a partir da coleta de 96 amostras de solos distribuídas aleatoriamente na área irrigada, que permitiu gerar mapas de textura para toda a área mediante a utilização de geoestatística (Tabela 1). A partir das informações de textura, o modelo LAWS calcula automaticamente as propriedades hidráulicas dos solos e estima os parâmetros da equação de van Genuchten (YOUNG, 2008).

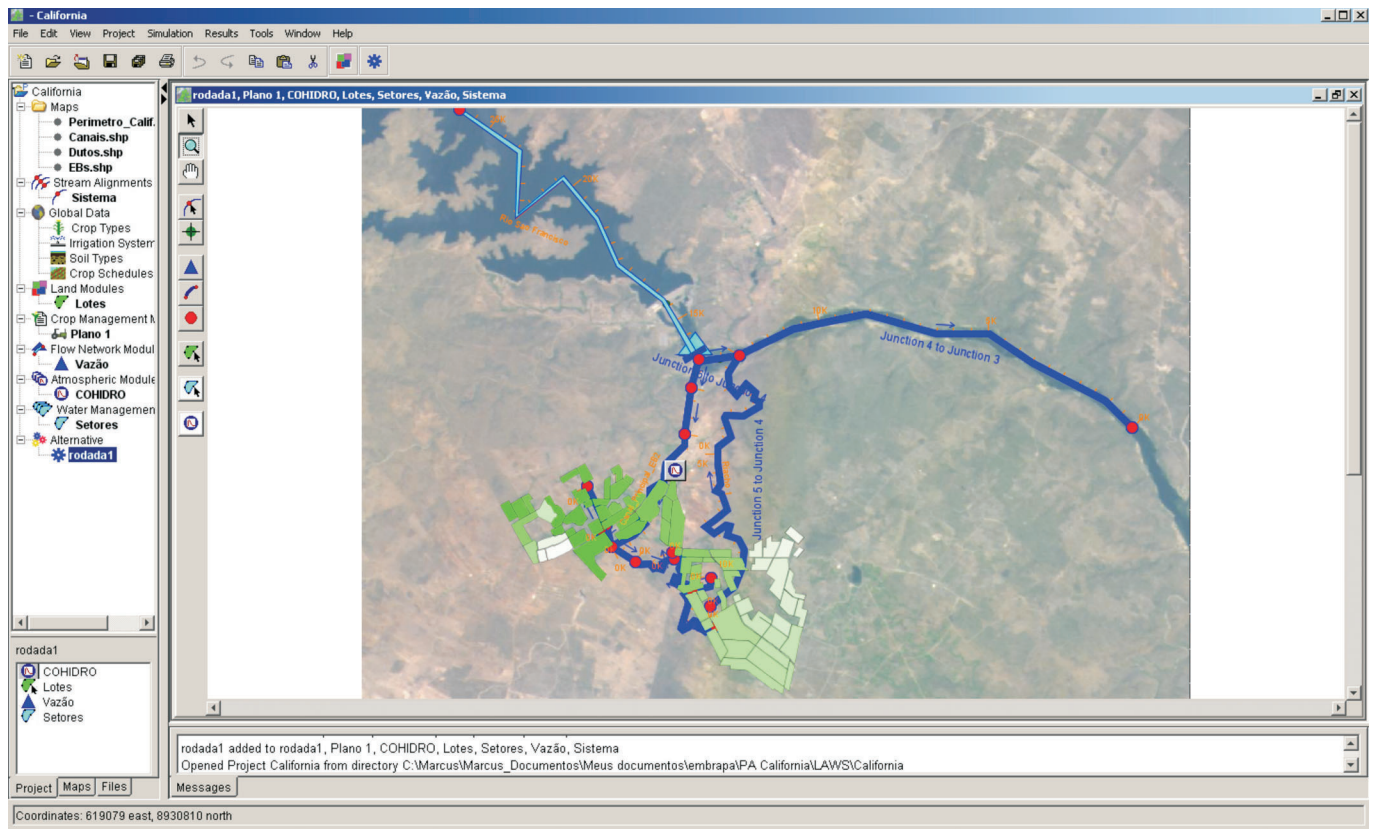


Figura 2. Tela de entrada carregada do modelo LAWS com a área do projeto de irrigação do Perímetro Irrigado Califórnia.

Tabela 1. Distribuição espacial da textura dos solos, por setores, no Perímetro Irrigado Califórnia.

Setor	Área (ha)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
3	304,7	50	30	20
4	245,0	60	20	20
5	168,5	50	35	15
6	263,0	35	35	30
7	468,6	30	35	35

O período de simulação considerado foi de abril de 2004 a novembro de 2005. Esse período foi selecionado segundo a disponibilidade das informações referentes às áreas plantadas e dados climatológicos diários sem falhas. Os dados climatológicos inseridos no Módulo Atmosférico do LAWS foram precipitação e evapotranspiração de referência diárias. Os dados climatológicos para o período de análise totalizaram 610 registros. Os valores foram originados da Estação Agrometeorológica PICAL, mantida

pela Companhia de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Irrigação de Sergipe (COHIDRO) próxima ao escritório da gerência do Perímetro. A estação apresenta uma série maior (desde 1989), no entanto possui muitas falhas, com um intervalo de seis anos sem funcionamento (1998 a 2003), por exemplo. Na Figura 3, apresentam-se os dados de precipitação e evapotranspiração de referência mensais para o período de análise considerado na simulação.

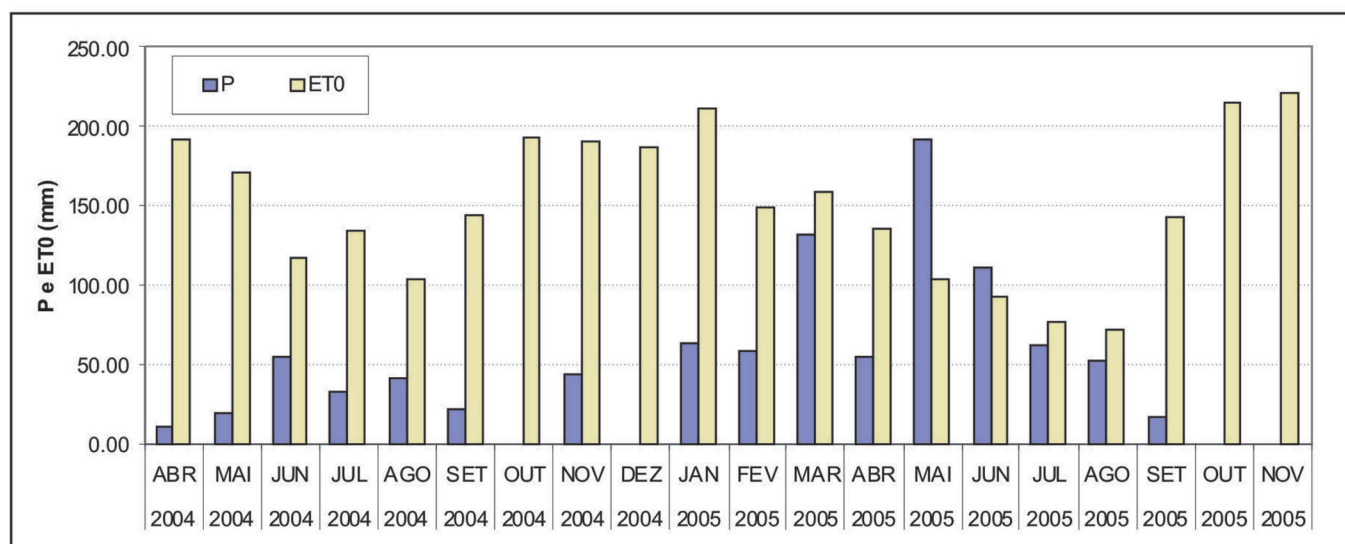


Figura 3. Valores mensais da precipitação e evapotranspiração de referência (mm) para o Perímetro Irrigado Califórnia, no período simulado de abril de 2004 a novembro de 2005.

A caracterização do sistema hídrico, no LAWS, baseia-se no fornecimento de informações limite relacionadas a reservatórios e canais, incluindo volumes máximos de reservação e vazões máximas aduzidas, capacidade máxima de condução, tempo de viagem, além de informações referentes a perdas ao longo dos canais, drenagem e aporte subterrâneo. Assim, a partir dos dados condensados na Figura 1, foram caracterizados os trechos (*reaches*), os nós (*junctions*) e o reservatório de Xingó (*Reservoir*). Como o LAWS não permite a inserção de EBs no sistema, estas foram representadas pela sua vazão máxima de bombeamento lançada em um nó a montante dos respectivos canais de distribuição.

Partindo-se do cenário caracterizado, realizou-se a execução do LAWS para avaliar o comportamento do sistema em relação à situação atual de funcionamento do Perímetro. Na Tabela 2, são apresentados os resultados mensais de volumes demandados pelas culturas nos setores para os quais foram realizadas simulações.

Considerando-se o período de simulação, observa-se que as principais culturas exploradas no Perímetro Irrigado Califórnia, segundo o cenário atual de plantio nos setores, demandaram aproximadamente 14,5 milhões de metros cúbicos de água. Ao se realizar uma análise anual, ou seja, considerar a média para o período de 12 meses, observa-se que este cenário demanda um consumo de água da ordem de 8,7 milhões de metros cúbicos. Esse valor corresponde atualmente a cerca de 41% do volume bruto aduzido ao ano ($21,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ pela EB-100). Deve-se ressaltar, no entanto, que o bombeamento da EB-100 ainda atende a outros usos que não estão representados na simulação em questão, como abastecimento da Sede do Município de Canindé de São Francisco e alguns povoados, o que significa que esse valor (41%) não representa necessariamente a eficiência média dos sistemas de irrigação. Mesmo assim, observa-se que os volumes aduzidos pelos sistemas estão significativamente acima da demanda por água para o atendimento da evapotranspiração (ETc) das principais culturas atualmente cultivadas nos lotes do Perímetro.

Tabela 2. Volumes de água demandados ($\text{m}^3 \times 10^3$) pelos setores do Perímetro Irrigado Califórnia, em função da ETc das principais culturas plantadas, no período simulado de abril de 2004 a novembro de 2005.

<i>Período de simulação</i>		<i>Setor</i>					
		<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>Total</i>
2004	Abr.	105,72	168,17	154,21	205,03	303,73	936,88
	Mai.	116,86	177,19	171,22	229,72	330,07	1.025,07
	Jun.	80,17	133,93	117,47	158,10	231,42	721,08
	Jul.	85,03	140,05	124,36	164,51	241,56	755,51
	Ago.	76,46	126,17	111,98	148,83	217,51	680,96
	Set.	65,64	105,36	96,28	131,73	186,61	585,62
	Out.	73,16	116,12	106,34	132,34	203,84	631,80
	Nov.	71,13	122,37	105,64	140,06	206,22	645,43
	Dez.	95,06	150,85	138,24	172,06	265,03	821,25
2005	Jan.	113,28	185,52	165,59	214,38	322,41	1001,16
	Fev.	108,22	171,69	157,30	195,76	301,50	934,47
	Mar.	88,20	140,04	128,23	159,58	245,81	761,86
	Abr.	74,98	119,27	109,37	145,41	215,41	664,44
	Mai.	71,19	107,94	104,30	139,94	201,07	624,45
	Jun.	63,46	106,02	93,00	125,15	183,20	570,83
	Jul.	63,89	105,23	93,44	123,61	181,50	567,66
	Ago.	64,31	106,12	94,19	125,18	182,95	572,75
	Set.	65,13	104,54	95,53	130,71	185,16	581,07
	Out.	81,41	129,20	118,32	147,25	226,81	702,99
	Nov.	82,79	142,43	122,96	163,02	240,02	751,21
Total		1.646,07	2.658,22	2.407,97	3.152,38	4.671,84	14.536,48
Média/ano		987,64	1.594,93	1.444,78	1.891,43	2.803,10	8.721,89

O nível de atendimento da demanda hídrica (NAD) das principais culturas plantadas no Perímetro, em cada um dos cinco dos setores, é apresentado na forma de volumes totais ($\text{m}^3 \times 10^3$) fornecidos pelos sistemas de irrigação (Tabela 3). Observa-se que a eficiência média do Perímetro ficou em torno de 45%, considerando-se as perdas decorrentes do transporte em canais, reservatórios e

eficiências dos sistemas de irrigação simulados. Assim, levando-se em consideração o período de simulação, o sistema forneceu para os setores cerca de 32,0 milhões de metros cúbicos, o que representa 19,3 milhões de metros cúbicos de água ao ano, superando em aproximadamente 10 milhões de metros cúbicos o volume demandado anual.

Tabela 3. Volumes de água ($m^3 \times 10^3$) fornecidos para os setores do Perímetro Irrigado Califórnia, em função da ETc das principais culturas plantadas, no período simulado de abril de 2004 a novembro de 2005.

<i>Período de simulação</i>		<i>Setor</i>					
		<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>Total</i>
2004	Abr.	214,95	375,33	369,01	411,08	609,26	1.979,63
	Mai.	251,10	392,18	391,52	474,78	795,08	2.304,66
	Jun.	167,46	303,81	286,88	333,59	466,44	1.558,19
	Jul.	204,91	290,35	307,96	384,99	556,99	1.745,20
	Ago.	190,20	269,20	273,50	306,48	502,92	1.542,30
	Set.	140,52	246,30	216,52	317,44	396,04	1.316,82
	Out.	164,52	263,70	212,99	284,84	425,25	1.351,30
	Nov.	160,30	260,86	245,15	321,30	422,69	1.410,29
	Dez.	192,73	326,94	315,84	385,56	597,04	1.818,11
2005	Jan.	231,84	390,24	331,78	461,75	771,61	2.187,23
	Fev.	269,86	387,60	374,01	394,88	606,39	2.032,74
	Mar.	186,04	304,54	261,86	385,15	527,82	1.665,42
	Abr.	156,52	248,64	235,38	310,31	434,28	1.385,12
	Mai.	163,16	217,22	233,49	326,92	486,08	1.426,85
	Jun.	136,07	213,68	220,36	295,87	435,66	1.301,64
	Jul.	133,66	218,88	207,25	304,11	377,08	1.240,99
	Ago.	149,96	249,25	206,26	264,02	374,69	1.244,18
	Set.	152,32	223,64	193,58	262,04	424,53	1.256,11
	Out.	163,87	304,58	254,66	364,72	529,66	1.617,48
	Nov.	169,21	351,83	292,20	385,32	546,32	1.744,88
Total	3.599,20	5.838,77	5.430,19	6.975,14	10.285,82	32.129,12	
Média/ano	2.159,52	3.503,26	3.258,11	4.185,08	6.171,49	19.277,47	

Recentemente, medidas para aumento da eficiência de aplicação de água no Perímetro vêm sendo implantadas, como instalação de hidrômetros no lotes, verificação do estado de manutenção dos canais e EBs e substituição dos sistemas de irrigação. Esta última providência prevê a troca de sistemas de aspersão convencional, que têm baixa

eficiência de aplicação de água ($< 70\%$), por sistemas de microaspersão, que podem chegar a coeficientes de eficiência da ordem de 90%. Assim, um cenário avaliado por meio da simulação no LAWS é a melhoria na eficiência dos sistemas de irrigação em todos os setores do Perímetro, considerando-se a substituição total dos

sistemas atuais. Na Tabela 4, estão apresentados os volumes fornecidos pelo sistema, neste novo cenário, para cada um dos cinco setores e para o Perímetro por completo. Observa-se que o sistema passaria a apresentar

uma eficiência média geral de 62%, com uma redução de 8,7 milhões de metros cúbicos no período de simulação, o que representaria economia da ordem de $5,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ ao ano.

Tabela 4. Volumes ($\text{m}^3 \times 10^3$) fornecidos para os setores do Perímetro Irrigado Califórnia, em função da ETc das principais culturas plantadas, no cenário de substituição dos sistemas de irrigação.

	<i>Período de simulação</i>	<i>Setor</i>					<i>Total</i>
		3	4	5	6	7	
2004	Abr.	163,85	279,56	263,91	333,73	546,98	1.588,02
	Mai.	169,50	259,69	277,49	378,95	521,38	1.607,01
	Jun.	121,34	229,94	186,43	273,39	418,40	1.229,50
	Jul.	152,81	204,44	210,77	235,51	415,06	1.218,59
	Ago.	129,27	207,49	202,83	221,79	337,00	1.098,38
	Set.	111,14	166,48	146,69	238,17	307,19	969,67
	Out.	106,69	190,30	187,15	211,77	291,35	987,27
	Nov.	123,63	189,80	169,93	247,01	372,66	1.103,03
	Dez.	156,33	242,19	227,67	294,20	413,69	1.334,07
2005	Jan.	165,72	269,03	249,41	318,14	487,49	1.489,79
	Fev.	187,58	257,80	255,59	300,16	521,44	1.522,58
	Mar.	139,85	218,38	183,81	240,14	416,08	1.198,25
	Abr.	108,12	205,58	170,78	244,94	373,06	1.102,48
	Mai.	102,16	169,73	166,55	245,91	318,98	1.003,33
	Jun.	94,35	186,33	168,99	212,85	283,53	946,04
	Jul.	111,71	150,57	147,98	201,19	273,32	884,77
	Ago.	112,00	160,22	151,58	182,23	264,00	870,03
	Set.	105,30	163,52	155,36	230,92	279,29	934,39
	Out.	131,98	195,83	210,12	230,95	337,95	1.106,83
	Nov.	149,48	250,69	191,87	258,01	360,24	1.210,29
	Total	2.642,81	4.197,54	3.924,91	5.099,97	7.539,06	23.404,30
	Média/ano	1.585,68	2.518,52	2.354,94	3.059,98	4.523,43	14.042,57

Conclusões

1. O modelo LAWS apresenta um desempenho adequado à simulação do funcionamento do Perímetro Irrigado Califórnia.
2. Os resultados indicam que a demanda hídrica dos cinco setores simulados totalizou $8,71 \times 10^6 \text{ m}^3$ ao ano.
3. Os volumes fornecidos pelo sistema para o mesmo cenário foi de $19,3 \times 10^6 \text{ m}^3$ ao ano, representando uma eficiência média de 45% para o Perímetro Irrigado.
4. A simulação de um cenário com a substituição total do sistema de irrigação atual (aspersão) por outro mais eficiente (microaspersão) resulta no aumento da eficiência do sistema geral, alcançando-se um coeficiente de aplicação de água de 62%.

Referências

- ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O. FAO-24 reference evapotranspiration factors. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 117, n. 5, p. 758-772, 1991.
- ALVORADO, C. A. **Comunicação pessoal**. Canindé do São Francisco: COHIDRO, 2010.
- BROUWER, C.; PRINS, K.; HEIBLOEM, M. **Irrigation Water Management: irrigation scheduling. training manual**. Roma: FAO, 1989. n. 4
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).
- GOMIDE, R. L.; MAENO, P. Requerimento de água pela culturas. In: ALBUQUERQUE, P. E. P. de; DURÃES, F. O. M. (Ed.). **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. c. 5, p. 249-253.
- MANTOVANI, E. C.; ZINATO, C. E.; SIMÃO, F. R. **Manejo de irrigação e fertirrigação na cultura da goiabeira**. 2010. Disponível em: <http://www.nutricaoeplantas.agr.br/site/ensino/pos/Palestras_William/Livrogoiaba_pdf/8_irrigacao.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2010.
- PEREIRA, L. S.; ALVES, I. Crop water requirements. In: HILLEL, D. (Ed.). **Encyclopedia of soils in the environment**. London; New York: Elsevier, 2005. v. 1. c. 12. p. 322-334.
- SERGIPE. **Programa de desenvolvimento sustentável do semiárido sergipano**: documento conceptual do projeto. Aracaju: Governo do Estado de Sergipe, 2004.
- SILVA FILHO, J. G. **Comunicado pessoal**. Canindé de São Francisco: COHIDRO, 2010.
- TAMSEY, M. **Land water atmosphere simulator: description of analytical tools**. 2008. Disponível em: <<http://www.waterplan.water.ca.gov/docs/tools/descriptions/LAWS-description.pdf>>. Acesso em: 20 de Set. 2008.
- YOUNG, C. **Land water atmosphere simulator: workshop notes**. United States: Bureau of Reclamation and Stockholm Environment Institute. Petrolina, Brasil. 2008.

Comunicado Técnico, 108

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Tabuleiros Costeiros
Endereço: Avenida Beira Mar, 3250, CP 44,
CEP 49025-040, Aracaju - SE.
Fone: (79) 4009-1344
Fax: (79) 4009-1399
E-mail: sac@cpatc.embrapa.br
Disponível em <http://www.cpatc.embrapa.br>
1ª edição (2010)

Comitê de publicações

Presidente: Ronaldo Souza Resende.
Secretária-Executiva: Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues
Membros: Edson Patto Pacheco, Élio César Guzzo, Hymerson Costa Azevedo, Ivênio Rubens de Oliveira, Joézio Luis dos Anjos, Josué Francisco da Silva Junior, Luciana Marques de Carvalho, Semíramis Rabelo Ramalho Ramos e Viviane Talamini.

Expediente

Supervisora editorial: Raquel Fernandes de Araújo Rodrigues
Tratamento das ilustrações: Bryene Santana de Souza Lima
Editoração eletrônica: Bryene Santana de Souza Lima